



DEUTSCHES  
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: P 33 41 048.8  
22 Anmeldetag: 12. 11. 83  
43 Offenlegungstag: 24. 5. 84

DE 3341048 A1

30 Unionspriorität: 32 33 31  
18.11.82 IT 84155A-82

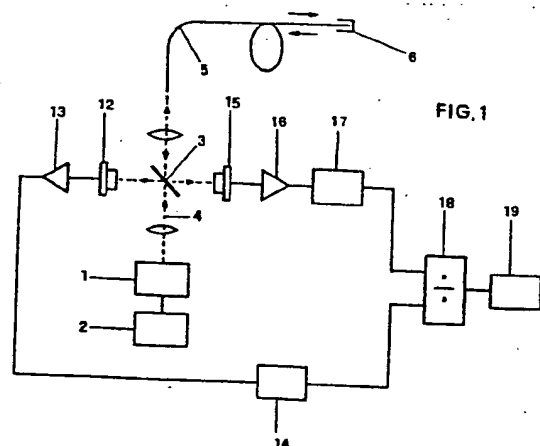
71 Anmelder:  
Consiglio Nazionale delle Ricerche, Rom/Roma, IT

74 Vertreter:  
Klose, H., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 6700 Ludwigshafen

72 Erfinder:  
Brenici, Massimo, Pistoia, IT; Falciai, Roberto;  
Scheggi, Anna Maria, Firenze, IT

54 Faser-Optik-Thermometer

Das erfindungsgemäße Faser-Optik-Thermometer weist eine Lichtquelle (1), eine mit dieser Lichtquelle verbundene optische Faser (5), die aus einem mit einer Umhüllung (8) versehenen Kern (7) besteht, sowie einen Temperaturfühler (6) auf, der mit der Faser (5) verbunden ist. Der Temperaturfühler (6) besteht aus einem Abschnitt einer optischen Faser (5), an welcher die Umhüllung (8) durch einen Überzug (10) ersetzt ist, dessen Brechungsindex (i) im Meßbereich des Instrumentes nicht geringer ist als der Brechungsindex (k) der Umhüllung (8) und temperaturabhängig ist. Das von der Lichtquelle (1) entfernte Ende der optischen Faser ist mit einer reflektierenden Oberfläche (11) versehen.



DE 3341048 A1

ORIGINAL INSPECTED

## Patentansprüche

1. Faser-Optik-Thermometer mit einer Lichtquelle, mit einer optischen Faser, die mit der Lichtquelle verbunden ist und aus einem mit einer Umhüllung versehenen Kern besteht, sowie mit einem Temperaturfühler, der mit der Faser verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Temperaturfühler (6) aus einem Abschnitt der optischen Faser (5) besteht, in welchem Abschnitt die Umhüllung (8) durch einen Überzug (10) ersetzt ist, dessen Brechungsindex (i) im Meßbereich des Instrumentes nicht geringer als der Brechungsindex (k) der Umhüllung und temperaturabhängig veränderlich ist, wobei das von der Lichtquelle (1) abgewandte Ende der optischen Faser mit einer reflektierenden Oberfläche (11) versehen ist.
2. Thermometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Brechungsindex (i) des den Überzug (10) bildenden Stoffes zwischen dem Brechungsindex (k) der Umhüllung (8) und dem Brechungsindex (q) des Kernes (7) liegt.
3. Thermometer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Überzug (10) aus einer Flüssigkeit besteht.
4. Thermometer nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Überzug (10) aus Glyzerin besteht.
5. Thermometer nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Fühler auf das von der Lichtquelle (1) entfernte Ende der Faser (5) aufgesetzt ist.
6. Thermometer nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Kern (7) der optischen Faser wenigstens eine Verjüngung aufweist, die sich im Fühler (6) befindet.

7. Thermometer nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Fasern (5, 5') vorhanden und miteinander starr verbunden sind, von denen die eine an ihrem Ende mit einem Fühler (6) versehen und die andere an ihrem Ende nicht mit einem Fühler versehen ist.

### Faser-Optik-Thermometer

Die Erfindung betrifft einen Faser-Optik-Thermometer.

Bekannte Faser-Optik-Thermometer basieren im wesentlichen auf der Verwendung eines Fühlers, der an eine Glasfaser aufgesetzt ist und dessen Verhalten sich in eindeutiger Weise mit der Temperatur ändert.

Ein Vergleich der Lichtdichte am Eingang des Fühlers mit der entsprechenden Lichtdichte am Ausgang des Fühlers gestattet die genaue Bestimmung der Temperatur des Körpers, an den der Übertrager angelegt ist.

Faser-Optik-Thermometer eignen sich insbesondere für Messungen an gefährlichen und schwer zugänglichen Stellen und haben gegenüber Thermoelementen den Vorteil, daß sie aus dielektrischem Material bestehen und somit gegenüber elektromagnetischen Feldern unempfindlich sind.

Das aus der US-Patentschrift 4 176 552 bekannte Faser-Optik-Thermometer weist zwei nicht umhüllte optische Fasern auf, nämlich eine Zuführungsfaser und eine Abführungsfaser, welche in einer Kapillare angeordnet sind, die teilweise mit einer Flüssigkeit gefüllt ist. Da der Brechungsindex der Flüssigkeit größer als der Brechungsindex der Faser ist, wenn Licht aus einer Lichtquelle das Ende der entsprechenden Faser erreicht,

verläßt das Licht den Meßfühler und kuppelt beide Fasern miteinander. Da die verwendete Flüssigkeit einen temperaturabhängigen Ausdehnungskoeffizienten hat, ändert sich das Volumen der Flüssigkeit und somit der Flüssigkeitsstand in Abhängigkeit von der Temperatur; hierdurch wird eine mehr oder weniger große Kupplung zwischen der Zuführungsfaser und der Abführungsfaser hervorgerufen. Zur Vergrößerung der Empfindlichkeit des Instrumentes wurde vorgeschlagen, mehrere Zuführungsfasern und mehrere Abführungsfasern vorzusehen, damit der kleinere für die Flüssigkeit zur Verfügung stehende Raum in der Kapillare größere Variationen des Flüssigkeitsstandes (und somit größere Veränderungen der Kupplung zwischen den Fasern) bei gleichen Volumenveränderungen hervorruft.

Ein erheblicher Nachteil dieses bekannten Thermometers liegt darin, daß seine Funktionsweise auf Veränderungen des Flüssigkeitsstandes beruht und somit eine genaue Positionierung (vertikal!) des Meßfühlers erfordert.

Ein weiterer Nachteil dieses bekannten Thermometers liegt darin, daß die Kupplung zwischen den Fasern nur für reflektiertes Licht gegeben ist, wodurch die Empfindlichkeit des Instruments begrenzt ist; zur Verbesserung der Empfindlichkeit muß man eine Vielzahl von Fasern verwenden, wodurch die Gesamtgröße des Fühlers erhöht wird.

Ein dritter Nachteil liegt darin, daß ein Biegen der Faser zu einer Schwächung führt, wodurch die Empfindlichkeit des Instrumentes weiter herabgesetzt wird, da das Biegen zu Fehlern führt, die von der Verwendungsweise des Instrumentes abhängen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Faser-Optik-Thermometer anzugeben, welches nicht die genannten Nachteile bekannter Instrumente hat, sondern insbesondere die folgenden Vorteile aufweist:

1. Weiter Meßbereich,
2. hohe Empfindlichkeit, sogar mit nur einer einzigen Faser,
3. leichte Miniaturisierbarkeit,
4. praktische Unempfindlichkeit gegenüber der Stellung des Fühlers und ganz allgemein die Art der Anwendung,
5. zuverlässige Arbeitsweise, sogar bei niederer Leistung,
6. geringe Herstellungskosten.

Durch die in Anspruch 1 angegebenen Merkmale wird die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe gelöst und werden die vorgenannten Vorteile erreicht.

---

Die Erfindung wird unter Bezugnahme auf beiliegende Zeichnungen beschrieben; es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild des erfindungsgemäßen Faser-Optik-Thermometers,

Fig. 2 einen vergrößerten Längsschnitt durch den Temperaturfühler, der am Ende der optischen Faser angeordnet ist,

Fig. 3 die Abhängigkeit des Ausgangssignals des Fühlers von der Temperatur, wenn im Fühler der Überzug über den Faserkern aus Glyzerin besteht,

Fig. 4 die Abhängigkeit des Ausgangssignals des Fühlers für verschiedene Substanzen, aus denen im Fühler der Überzug des Faserkerns bestehen kann,

Fig. 5 und 6 zwei Varianten des Gegenstandes der Fig. 2 und

Fig. 7 eine Variante des Gegenstandes der Fig. 1.

Das erfindungsgemäße Thermometer weist eine Lichtquelle 1, beispielsweise eine LED (eine Leuchtdiode) auf, welche von einem Modulator 2 moduliert ist. Gegenüber der Lichtquelle 1 ist ein Strahlaufteiler 3 angeordnet. In Richtung des von der LED 1 ausgesandten Lichtstrahles 4, jenseits des Strahlaufteilers 3, ist eine optische Faser 5 angeordnet, auf deren Ende der Temperaturfühler 6 aufgesetzt ist. Die optische Faser hat vorteilhaft einen abgestuften Brechungsindex, beispielsweise ein Siliciumkern 7 mit einem Durchmesser von 200 bis 600  $\mu\text{m}$  und mit einer Plastik-Umhüllung 8. Der Fühler 6 besteht vorteilhaft aus einer Glas-oder Teflon-Kapillare 9 von 1 bis 2 mm Durchmesser, in welche das Ende der Faser 5 nach Entfernen der Umhüllung 8 eingesetzt ist, und in welche ein Material 10, vorteilhaft eine Flüssigkeit (beispielsweise Glyzerin), mit einem Brechungsindex  $n$  größer als der Brechungsindex  $k$  der Umhüllung 8, eingesetzt ist.

Am Austrittsende des Kerns 7 der Faser 5 ist eine reflektierende Oberfläche 11 vorgesehen.

Ein Referenzdetektor 12, danach ein Verstärker 13 und ein Filter 14, sind im Strahlengang des vom Strahlaufteiler abgelenkten Strahles angeordnet. Jenseits des Strahlaufteilers, in entgegengesetzter Richtung zum Detektor 12, befindet sich ein weiterer Detektor 15, hinter welchem ein Verstärker 16 und ein Filter 17 angeordnet sind. Die Ausgangssignale der beiden Filter 16 und 17 gehen in einen Teiler 18 und weiter zu einer Anzeige 19.

Das erfindungsgemäße Thermometer arbeitet folgendermaßen:

Der von der modulierten Lichtquelle 1 ausgehende Lichtstrahl 4 wird in die optische Faser 5 gebündelt, wobei ein Teil des Strahles vom Strahlaufteiler 3 auf den Referenzdetektor 12 abgelenkt wird. Das vom Detektor 12 erzeugte elektrische Signal wird im Verstärker 13 verstärkt, im Filter 14 gefiltert

und dann dem Teiler 18 zugeführt. Der von der optischen Faser 5 geführte Strahl wird im Fühler 6 geschwächt, wobei diese Schwächung vom Brechungsindex  $i$  der Flüssigkeit 10 abhängt.

Insbesondere erreicht die von der Faser 5 übertragene Lichtenergie den Fühler 6. Da einerseits der Brechungsindex  $i$  der Flüssigkeit 10 größer ist als der Brechungsindex  $k$  der Umhüllung 8, und da andererseits der Annahmewinkel<sup>+</sup> der Faser an dieser Flüssigkeit 10 infolgedessen kleiner ist, wird im Fühler ein Teil dieser Lichtenergie außerhalb des Kerns 7 reflektiert, und dies entspricht einer Energieabschwächung beim Durchgang durch diesen Teil des Kernes 7, welcher von der Flüssigkeit 10 umgeben ist. Beim Erreichen der reflektierenden Oberfläche 11 wird der geschwächte Lichtstrahl reflektiert und durchquert nochmals den von dem Überzug 10 umgebenen Kern 7, ~~wo er eine weitere Schwächung erfährt. Da der Brechungsindex  $i$~~  der Flüssigkeit 10 temperaturabhängig ist, verändert sich der Annahmewinkel der Faser 5 und somit die Schwächung der Lichtenergie ebenfalls in einer von der Temperatur abhängigen Weise. Der reflektierte Strahl, welcher gegenüber dem von der LED 1 ausgesandten Strahl geschwächt ist, durchquert nochmals den umgekehrten Weg in der Faser 5, trifft nochmals auf den Strahlaufteiler 3 und wird zum Detektor 15 abgelenkt. Das von diesem Detektor 15 erzeugte elektrische Signal wird im Verstärker 16 verstärkt, vom Filter 17 gefiltert und dem Teiler 18 zugeführt. In diesem wird das Verhältnis des Signals vom Meßkanal (Detektor 15/Verstärker 16/Filter 17) zu dem vom Referenzkanal ausgesandten Signal (Detektor 12/Verstärker 13/Filter 14) genommen, um Schwankungen der Lichtquelle 1 zu eliminieren, und das sich dann ergebende Signal wird verarbeitet und in der Anzeige 19 angezeigt.

Fig. 3 zeigt die Abhängigkeit des Ansprechens des Fühlers 6 von der Temperatur, wenn die Flüssigkeit 10 aus reinem Glyzerin besteht, dessen Brechungsindex  $i$  mit zunehmender Temperatur abnimmt.

<sup>+</sup>) d.h. der Komplementärwinkel zum Grenzwinkel der Totalreflexion



Die horizontale Achse der Fig. 3 zeigt die Temperatur in °C und die vertikale Achse die gemessene Spannung am Ausgang des Verstärkers 16, der hinter dem Detektor 15 angeordnet ist. Die Spannung ist der Intensität des vom Detektor 15 erhaltenen Lichtes proportional. Man erkennt, daß die Kurve bis zu einer Temperatur von etwa 52°C fällt, an welchem der Brechungsindex  $i$  der Flüssigkeit 10 gleich dem Brechungsindex  $q$  des Kernes ist. Für Temperaturen zwischen 52°C und etwa 70°C steigt die Kurve mit zunehmender Temperatur an. Das Instrument wird vorteilhaft innerhalb des zweiten Temperaturbereiches verwendet, in welchem  $k$  kleiner als  $q$  ist, da die stärkere Steigung der Kurve eine hohe Ansprechempfindlichkeit gestattet, allerdings über einen begrenzten Temperaturbereich. Dieser Bereich kann dadurch erweitert werden, daß man den Fühler 6 durch andere Fühler ersetzt, welche unterschiedliche Flüssigkeiten aufweisen.

Fig. 4 zeigt beispielsweise vier Kurven, welche für unterschiedliche Flüssigkeiten das erhaltene Austrittssignal zeigen. Kurve a entspricht verdünntem Glyzerin, Kurve b reinem Glyzerin (wie Fig. 3), und die Kurven c und d zwei unterschiedlichen Typen von Mineralölen. Auf diese Weise kann man sehr große Meßbereiche abdecken, indem man einfach den Meßfühler austauscht.

In einigen Fällen kann man das Instrument auch in dem Temperaturbereich verwenden, in dem die Kurve mit zunehmender Temperatur fällt ( $k$  kleiner als  $q$  kleiner als  $i$ ), wenn man eine geringere Ansprechempfindlichkeit in Kauf nimmt, um einen erweiterten Meßbereich zu erhalten.

Bei der Ausführungsform der Fig. 5 gestattet die Einschnürung des Kernes 7 eine Veränderung des vom Fühler ausgesandten Signals, wodurch der überdeckte Temperaturbereich erweitert wird. In dieser Hinsicht entspricht die Einschnürung des Kernes 7 der Faser 5 zwei Verjüngungen, welche vom Lichtstrahl zweimal getroffen werden, nämlich beim Hinweg vor dem Auftreffen auf die reflektierende Fläche 11 und beim Rückweg. Jeder Verjüngung entspricht eine Verminderung des Annahmewinkels der Faser

5. Dies führt zu einer größeren Schwächung. Die Einschnürung verändert die Ansprechkurve in der Weise, wie dies durch die gestrichelte Linie der Fig. 3 angedeutet ist, woraus sich natürlich ein erweiterter Meßbereich ergibt.

Fig. 6 zeigt einen Fühler, in dem der Kern 7 der Faser 5 eine einzige Verjüngung aufweist. In diesem Falle kann die Verminderung des Durchmessers der Faser zur Miniaturisierung des Fühlers 6 verwendet werden.

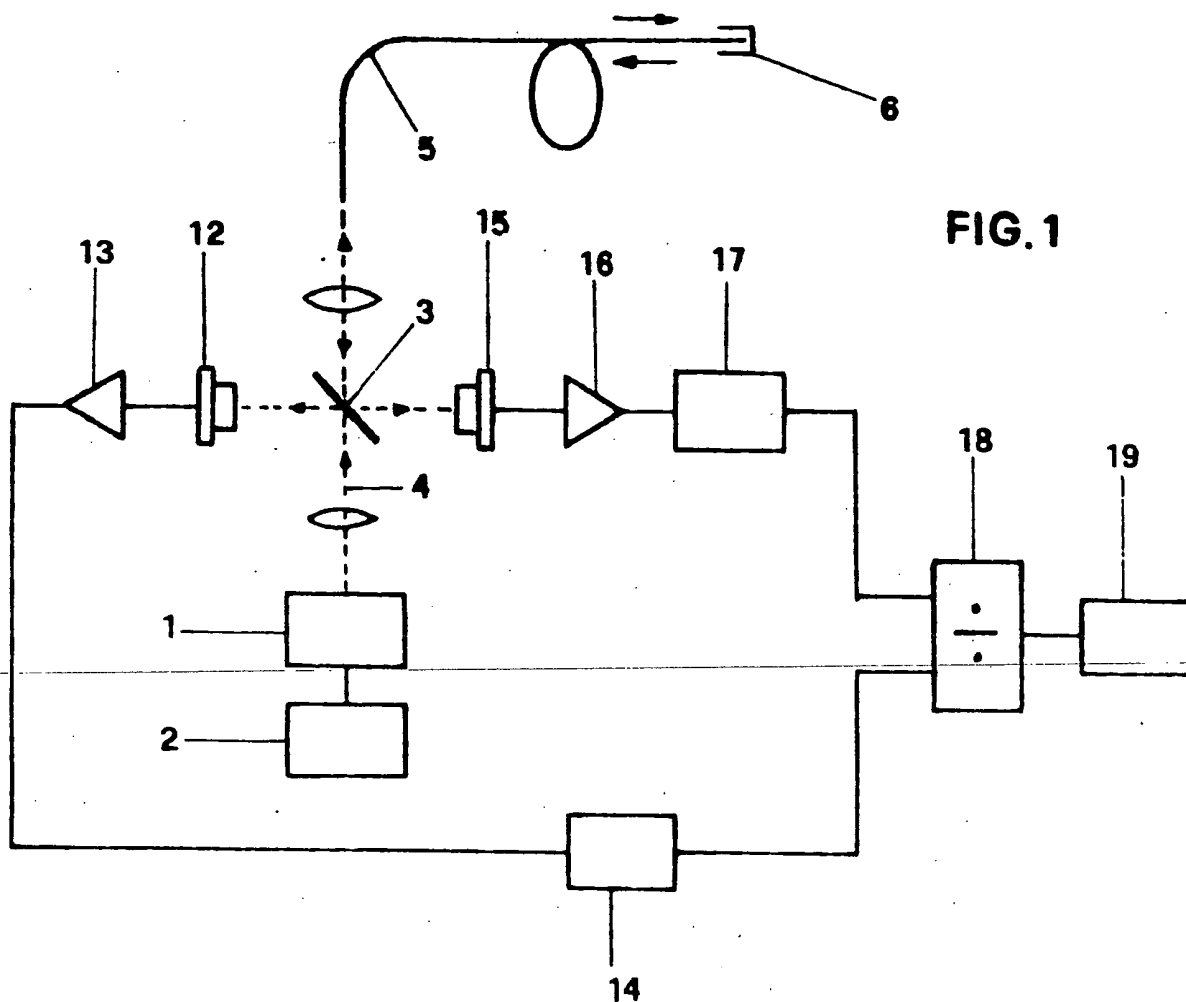
Das Blockschaltbild der Fig. 7 zeigt ein Faser-Optik-Thermometer, welches, im Unterschied zu dem schematisch in Fig. 1 dargestellten Thermometer, unempfindlich ist gegen eine zusätzliche, durch ein Knicken der Faser hervorgerufene Schwächung.

Bei dieser Ausführungsform weist das Thermometer zwei identische Lichtstrahlen 4 und 4' auf, welche von der modulierten Lichtquelle 1 ausgesandt werden. Nach Durchgang durch die beiden Strahlaufteiler 3 und 3' werden beide Strahlen in zwei optischen Fasern 5 und 5' gebündelt, welche miteinander starr verbunden sind. Die Faser 5 entspricht der Faser 5 des Thermometers der Fig. 1, wogegen die Faser 5' keinen Temperaturfühler, jedoch am Ende eine reflektierende Oberfläche aufweist. Auf diese Weise sind die Meß- und Referenz-Kanäle getrennt, doch beeinflußt ein Knicken die optischen Fasern in gleicher Weise, da sie starr miteinander verbunden sind, und dies eliminiert die Wirkung dieser Fehlerquelle auf das Verhältnis.

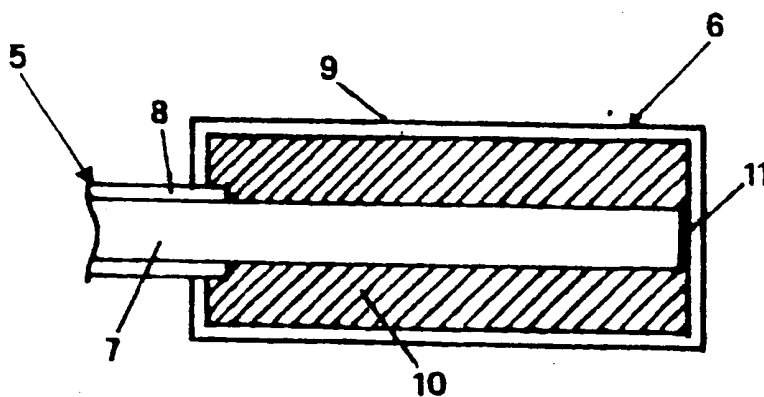
Das erfindungsgemäße Thermometer kann für verschiedene Anwendungen eingesetzt werden, wie zur Überwachung von Hochspannungsanlagen (Leitungen, Umformer und dergl.) oder elektrischen Apparaten (Mikrowellenherde usw.). Auch eignet es sich für medizinische Anwendungen (Wärmestauung), bei welcher u. a. kleine Abmessungen verlangt werden. Im letzteren Anwendungsfall gestattet der miniaturisierte Meßfühler die Ausführung lokalisierter Temperaturmessungen.

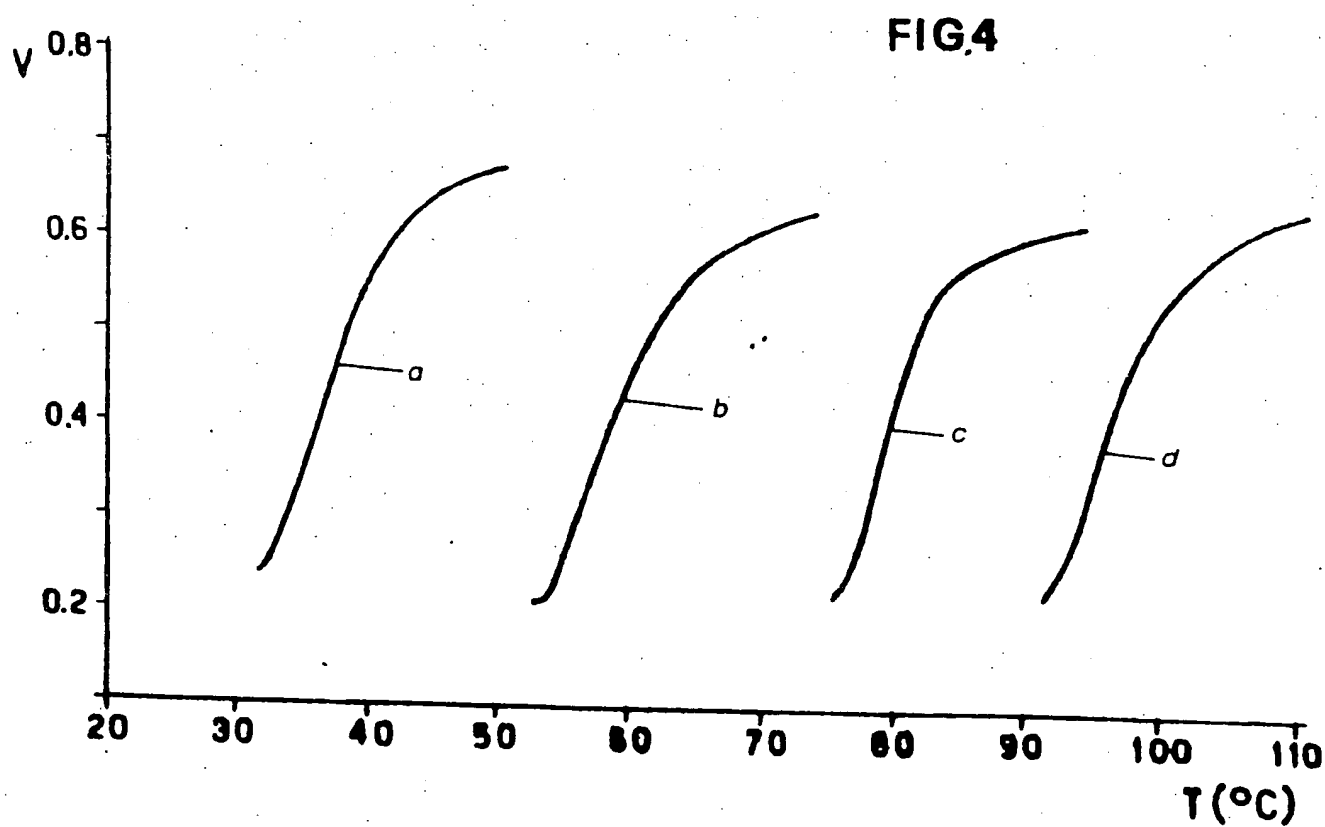
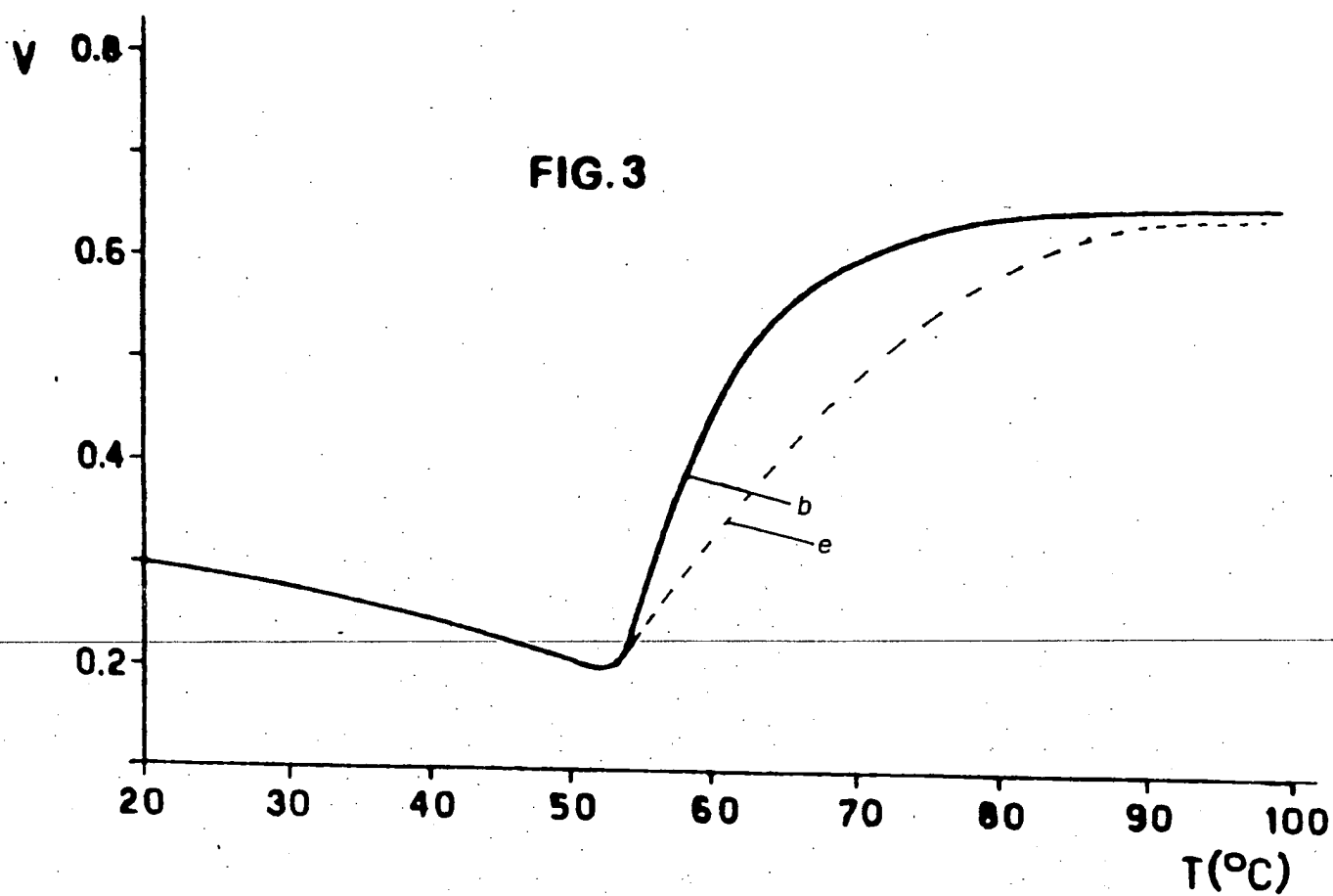
## Bezugszeichenliste

light source	1	Lichtquelle
modulator	2	Modulator
beam splitter	3, 3'	Strahlaufteiler
light beam	4, 4'	Lichtstrahl
optical fibre	5, 5'	optische Faser
temperature sensor	6	Temperaturfühler
silica core	7	Kern (aus Silicium-
		dioxid)
cladding	8	Umhüllung
capillary	9	Kapillare
covering, liquid	10	Überzug, Flüssigkeit
reflecting surface	11	reflektierende
		Oberfläche
reference detector	12	Referenzdetektor
amplifier	13	Verstärker
filter	14	Filter
detector	15	Detektor
amplifier	16	Verstärker
filter	17	Filter
divider	18	Teiler
processor-display-unit	19	Anzeige
refractive index of 10	1	Brechungsindex von 10
refractive index of 8	k	Brechungsindex von 8
refractive index of 7	q	Brechungsindex von 7



**FIG. 2**





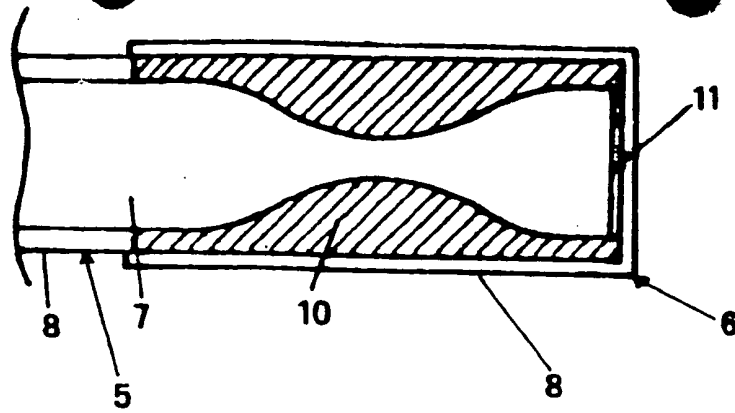


FIG. 5

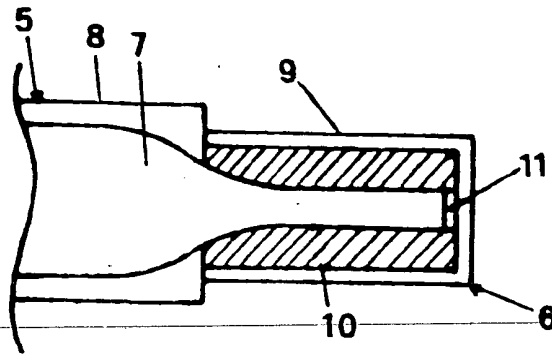


FIG. 6

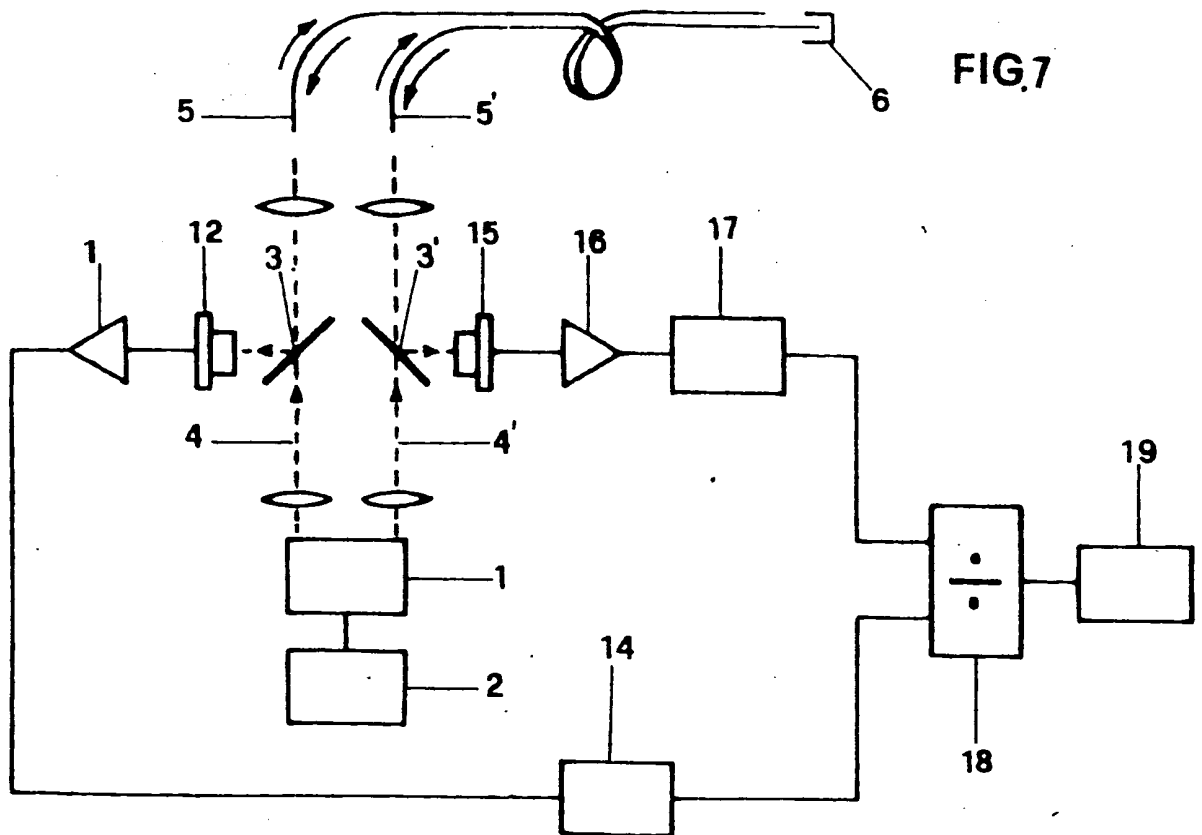


FIG. 7

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**